

PTO 03-3263

International Publication No. WO 96/20062

METHOD OF CUTTING NONMETALLIC MATERIALS AND A DEVICE FOR CARRYING  
OUT SAID METHOD

Vladimir Stepanovich Kondratenko

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
WASHINGTON, D.C. 20590  
TRANSLATED FROM RUSSIAN BY THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

INTERNATIONAL PATENT OFFICE  
WORLD ORGANIZATION FOR INTELLECTUAL PROPERTY

International patent published on  
the basis of the Patent Cooperation Treaty (PCT)  
INTERNATIONAL PUBLICATION NO. WO 96/20062

International Patent Classification <sup>6</sup> :	B 23 K	26/00
International Filing No.:	PCT/RU94/00276	
International Filing Date:	December 23, 1994	
International Publication Date:	July 4, 1996	

METHOD OF CUTTING NONMETALLIC MATERIALS AND A DEVICE FOR CARRYING  
OUT SAID METHOD

[Sposob rezki nemetallicheskih materialov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya]

Inventor and Applicant:	Vladimir Stepanovich Kondratenko
Designated States:	CA, JP, KR, RU, US, European Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)

Published  
With International Search Report.

## FOR INFORMATION ONLY

Codes for the identification of PCT contract states on the cover sheets of the documents that publish the international applications in accordance with the PCT.

AT	Austria	RU	Russian Federation
AU	Australia	SD	Sudan
BB	Barbados	SE	Sweden
BE	Belgium	SI	Slovenia
BF	Burkina Faso	SK	Slovakia
BG	Bulgaria	SN	Senegal
BJ	Benin	TD	Chad
BR	Brazil	TG	Togo
CA	Canada	UA	Ukraine
CF	Central African Republic	US	United States of America
BY	Belarus	UZ	Uzbekistan
CG	Congo	VN	Vietnam
CH	Switzerland		
CI	Côte d'Ivoire		
CM	Cameroon		
CN	China		
CS	Czechoslovakia		
CZ	Czech Republic		
DE	Germany		
DK	Denmark		
ES	Spain		
FI	Finland		
FR	France		
GA	Gabon		
GB	United Kingdom		
GN	Guinea		
GR	Greece		
HU	Hungary		
IE	Ireland		
IT	Italy		
JP	Japan		
KP	Democratic People's Republic of Korea		
KR	Republic of Korea		
KZ	Kazakhstan		
LI	Liechtenstein		
LK	Sri Lanka		
LU	Luxembourg		
LV	Latvia		
MC	Monaco		
MD	Moldova		
ME	Montenegro		
ML	Mali		
MT	Malta		
MU	Mauritius		
NE	Niger		
NL	Netherlands		
NO	Norway		
NZ	New Zealand		
PL	Poland		
PT	Portugal		
RO	Romania		

## Field of invention

The invention concerns a method of machining materials, specifically a method of cutting nonmetallic materials, primarily glass, quartz, ceramics, and a device for accomplishing it. The invention can be used for high precision cutting of both nonmetallic sheet materials as well as articles that have the shape of bodies of revolution, for example glass tubes.

## Prior art

There is a large number of quite different methods of cutting nonmetallic materials: thermal or flame cutting, mechanical scribing using diamond or hard alloy tools, cutting with the aid of an abrasive tool, as well as various types of laser cutting. In each case a specific technical task is solved and necessary requirements on productivity, quality and precision of cutting are met.

In a number of cases it is necessary to resort to preliminary cutting followed by mechanical finishing of edges in order to satisfy high requirements on the precision and quality of the cut edges. This results in high labor intensity and, as a consequence, high net cost of the resulting articles.

Therefore, research and development of new efficient methods of cutting nonmetallic materials and devices implementing these new methods of cutting is an important task.

There is a known method of cutting glass tubes that includes scoring along the cutting line, subsequent heating of the cutting line with a laser beam, in which case a bundle of tubes is rotated in front of a laser ribbon beam with simultaneous travel along it and, after being heated up, the cutting line is cooled (USSR Inventor's Certificate No. 857025).

This method makes it possible to obtain satisfactory results in the cutting of thin-walled small diameter tubes of glass that have a coefficient of linear thermal expansion greater than  $50 \times 10^{-7}$  deg. However, it is not very suited for the cutting of tubes of heat resistant glass and cannot assure high quality in the cutting of sheet materials. This is connected with the fact that when cutting tubes along the entire closed circular contour with repeated revolution in front of the laser ribbon beam there is a gradual increase of the thermal stresses, and upon subsequent cooling of the cutting line a through parting crack forms along the entire annular contour. The use of such a cutting system for sheet materials is inexpedient and difficult to implement.

There is also a known method of cutting nonmetallic materials that includes heating the cutting line with a tool, for example laser beam, local cooling of the irradiated region using a coolant with relative movement of the region of heating and of the coolant (PCT/GB93/00699).

This method produces a result that is not bad in the case of linear cutting of nonmetallic sheet materials, but it cannot support high quality and high precision of cutting along a curved

contour. In addition, this method has low cutting process stability when the radiation power density is high and cutting speeds are high.

This is connected with the fact that when using a laser beam with elliptical cross section and Gaussian distribution of the radiation power density heating is accomplished in a very narrow zone with a sharp increase of temperature from the periphery to the center. It is extremely difficult to obtain a stable process of thermal cracking at high velocities and, therefore, high power density, since heating the material is often accompanied by overheating in the central part of the irradiated region, i.e., the softening point of the material is exceeded, which is unacceptable if high quality cutting is to be obtained.

In addition, when this method is used to cut nonmetallic materials along a closed curved contour the quality of the cut is low. As is known, when cutting along a curved contour, in accordance with the said invention, the elliptical beam must be oriented along a tangent to the curved contour at every point. However, this leads to broadening of the curved regions of irradiation and disruption of symmetry of the temperature fields relative to the line of cutting, which sharply degrades the cutting quality. Serious problems also arise in the closure of the separating crack in the case of cutting articles with a closed curved contour.

There is also a known device for cutting nonmetallic materials that consists of a laser, on the optical axis of which is mounted, with the possibility of traveling along said axis, an optical focusing system that forms an elliptical laser beam on the surface of the material, and near the region of irradiation of the material between the optical focusing system and the material there is mounted, with the possibility of moving relative to the region of irradiation of the material, a mechanism for feeding a coolant into the cutting zone, and the device contains a means of securing the material being cut and a means for relative movement of the material and the laser beam and the coolant (USSR Inventor's Certificate 1231813).

In this device a coordinate table with movement along the X and Y coordinates and also a turntable that provides for angular movement along coordinate  $\phi$  is used as a means for relative movement of the material that assures production of parts with a curved cutting contour. Cutting is accomplished with movement of the material in front of a stationary elliptical laser beam that heats a narrow zone along the cutting line, after feeding an air-water mixture, which is an efficient coolant, into the zone of heating through a nozzle.

The device is controlled by means of a coordinate system with X and Y coordinates. The cut starts each time from the edge of the plate, where there is always a sufficient number of weak spots with microdefects, which are stress concentrators, from which the formation of the parting crack takes place in the cutting process.

Therefore, the device cannot assure a high cutting quality in the formation of a closed curved cutting contour. This is due to the absence of defects on the surface of the material along

the cutting line, which might serve as the origin for initiation and development of a crack. In addition, the described device is inefficient in the cutting of sheet materials thicker than 2 cm, since the formation of the parting crack occurs at a low velocity, and its depth is not sufficient to obtain high quality separation.

#### Disclosure of invention

This invention is based on the task of creating a method of cutting nonmetallic materials and a device for accomplishing it, in which an improvement of the reliability and productivity of the process and also of the quality and precision of cutting are assured due to a change of the conditions of heating and of the parameters of the laser beam and also owing to the use of special construction elements and a system of controlling the actuating elements in the device.

This task is solved by the fact that in the method of cutting of nonmetallic materials that including the cutting line with a thermal, for example laser beam, local cooling of the region of irradiation with the aid of a coolant with relative movement of the region of irradiation and coolant, in accordance with the invention, the heating is accomplished with a beam having a distribution of radiation power density that diminishes from the periphery to the center of the beam in the cross section passing through the center of the beam on the surface of the material.

This provides optimum conditions for heating the material along the cutting line, which on the one hand assures more uniform heating over the entire width of the region of irradiation of the material and which on the other hand excludes overheating of the material along the cutting line. The use of a laser beam with the said power density distribution makes it possible to expand substantially the range of technological parameters of cutting and to improve the reliability and repeatability of the process of cutting, while at the same time improving the quality of cutting.

The heating of the material along the cutting line must be accomplished with a beam that has a shape on the surface of the material that essentially coincides with the cutting outline.

When cutting along a curved contour having the form of a circle, it is necessary to accomplish heating with a beam that has, on the surface of the material, a crescent shape form with radius of curvature essentially coinciding with the radius of the circle.

When cutting along a closed contour it is expedient to accomplish heating with a beam that has essentially the form of the closed contour on the surface of the material.

The result of the invention that has a beam that essentially coincides with the cutting contour is that the material is free of a symmetrical distribution of thermoelastic stresses, which in turn assures an improvement of the quality of cutting along the curved contour and also an increase of the productivity of cutting.

It is expedient to apply a coolant to the surface of the material on the cutting line before beginning the cooling of the region of irradiation of the material.

This provides an increase of the precision of cutting and also facilitates the condition for initiation of a parting crack on the surface of the material, which increases the reliability of the cutting process.

This task is also solved by the fact that in the device for cutting nonmetallic materials that contains a source of thermal radiation, for example a laser, on the optical axis of which is mounted, with the possibility of moving along it, an optical focusing system that forms a laser beam on the surface of the material, and near the region of irradiation of the material between the optical focusing system and the material is mounted, with the possibility of moving relative to the region of irradiation of the material, a mechanism for feed of coolant into the cutting zone, and also the device contains a means of securing the material being cut and a means for relative movement of the material, at least relative to the coolant, in accordance with the invention the sequence and time of actuation of the laser with the optical focusing system and the coolant feed mechanism, and also the place and duration of action of the laser beam and the mechanism for feeding the coolant are linked to the means for relative movement of them via a control system and are chosen with consideration of the initial point of cutting in the formation of a specified contour of cutting of a nonmetallic material.

This assures high cutting quality along a closed linear contour due to precise initiation and completion of the parting crack.

It is expedient for the optical focusing system to contain an optical element, for example an axicon that converts the laser beam with Gaussian beam power distribution to a beam that has beam power distribution that diminishes from the periphery to the center of the beam in the cross section on the surface of the material.

It is necessary for the optical system to contain an optical element that forms the laser beam on the surface of the material into a shape that essentially coincides with the cutting contour.

The use of such optical elements assures the formation of optimum redistribution of the radiation power density in the beam on the surface of the material and it also optimizes the conditions for heating the material over any cutting contour. This assures an improvement of the reliability and productivity of the process and of the cutting quality.

In some cases it is expedient to provide the device with a mechanism for making a score, which is controlled by means of a system of impact pressure highly sensitive to high speed impact. This mechanism is provided for movement along the surface of the material, and is placed between the optical focusing system and the material.

It is desirable to connect the control system to the mechanism for application of the scoring, the optical focusing system and the mechanism for feed of coolant so that actuation of the optical focusing system is done when the optical axis of the laser beam essentially coincides

with the center of the scoring, and the time of actuation of the coolant feed mechanism has a delay  $t_1$  with respect to the moment of actuation of the optical focusing system that is defined by the ratio:

$$t_1 = \frac{b/2 + l}{v},$$

where  $b$  is the length of the laser beam on the surface of the material;

$v$  is the velocity of relative motion;

$l$  is the distance from the laser beam to the coolant;

after actuation the optical focusing system and coolant feed mechanism are in the working position for a time of at least one technological cycle, which is defined by the ratio:

$$t_2 = \frac{L + b/2}{v}$$

where  $L$  is the length of the cutting contour;

$t_2$  is the time of one technological cycle.

The use of a scoring mechanism controlled via the control system and also the operation of the other actuating elements and mechanisms of the device in dependence on the initial cutting point, i.e., on the point of application of the score, makes it possible to obtain absolutely high repeatability of the process of cutting any complex precision articles.

It is also desirable in a number of cases to provide the device additionally with a means for heating, and as a means for heating the material one can use a flat heater, on which the material being cut is positioned.

In a number of cases it is expedient to use as means for heating the material a source of thermal radiation, for example, a laser, infrared lamp or gas burner.

The use of such sources of heat assures more effective heating of bulky layers of material and requires no large expenditures of the material being cut, especially in the case of the laser. The local heating of the material supports a decrease in the rate of cutting, but it does not require the use of a coolant, which is especially important for cutting of materials thicker than 2 mm.

Thus, by optimizing the conditions of heating and the beam parameters and also by the use of the described structural elements in the device, including control of functional elements of



the device, via a system of control, one achieves an increase of the reliability and productivity of the process, and also of the quality and precision of cutting.

#### Best embodiment of the invention

Below the invention is illustrated in an example with reference to the affixed drawings, in which:

Figure 1 is a graphic dependence of the distribution of the temperature of heating of the surface of the material by a laser beam that has a radiation power density distribution that diminishes from the periphery to the center of the beam in the cross section passing through the center of the beam;

Figure 2 shows a scheme of cutting along a curved contour by a beam having a shape on the surface of the material that essentially corresponds to the cutting contour;

Figure 3 shows a scheme of cutting along a circumference in correspondence with the prototype method (I) and the proposed invention (II);

Figure 4 shows a device for cutting nonmetallic materials in accordance with the invention;

Figure 5 shows a scheme of cutting along a closed curved contour.

The method of cutting nonmetallic materials consists of the following. When the surface of the material is heated with laser radiation in the infrared range, for example a CO<sub>2</sub> laser with wavelength 10.6  $\mu\text{m}$ , for which glass, quartz, ceramics and a number of other brittle nonmetallic materials are nontransparent, compressive stresses arise in the zone of irradiation in the surface layers. After local cooling of the region of irradiation the thermal stresses change sign to the opposite sign, i.e., at the "heating-cooling" boundary tensile stresses arise, which under certain conditions lead to the formation of a parting crack in the material. Among the basic parameters that affect the technological cutting conditions are first of all the parameters of the laser beam on the surface of the material. For example, the use of a laser beam that is elliptical in shape, which is elongated along the cutting line, leads to an increase of the cutting rate and depth of the crack that forms.

However, the use of a beam of laser radiation with Gaussian power density distribution for the regime of thermal splitting has significant problems and limitations. Firstly, this is connected with the fact that the Gaussian power density distribution is characterized by a high central part of the beam, i.e., by a beam with a sharp peak of power density toward the periphery. Such heating conditions are not optimum, since often they lead to overheating of the material along the cutting line, where the heating temperature exceeds the softening point of the material, which leads to a sharp deterioration of cutting quality.

According to the proposed invention, it is necessary to accomplish the heating of the cutting line with a beam that has, on the surface of the material in the transverse cross section passing through the center of the beam, a radiation power density distribution that diminishes from the periphery to the center of the beam. Figure 1 shows the distribution of temperature in the heating of the material with laser beam 1, which has the form of an elliptical ring, the power density distribution of which in the cross section passing through the center O of beam 1 diminishes toward the center. At the moment of complete passage of beam 1 the temperature distribution curve has optimum form. Maximum heating occurs on the cutting line, but the entire region of irradiation is also sufficiently uniformly heated through. Upon subsequent cooling of the region of irradiation the tensile stresses in this case will have high values, and the possibility of overheating the material along the cutting line is practically excluded.

It should be noted that a favorable result is achieved not only when using a laser beam of circular cross section, where the power density diminishes the periphery to the center, but also when using a beam with practically uniform distribution of the radiation power density over the cross section, and even with a slight increase of the power density toward the center.

An analogous positive effect can be achieved if two intersecting Gaussian beams offset in the transverse direction relative to each other are used.

The above described technique of optimizing the conditions for heating the material onto the use of a laser beam with specified power density distribution provides an equally high result both in the case of linear cutting along a curved contour [sic] and in the case of cutting along a curved contour when cutting sheet materials and cutting articles that have the form of bodies of revolution, for example tubes.

However, when cutting along a curved contour additional problems arise that are not encountered in the case of linear cutting. Let us consider the most important of them.

It is known that the use of a laser elliptical beam that is elongated along the cutting line provides an increase of the productivity and precision of cutting. For cutting along a curved contour an elliptical beam has been oriented on a tangent at any point of the curved contour. However, this leads to different conditions of heating in linear and curved sections of the cutting contour. And the more elongated the beam along the cutting line, the higher the cutting rate that is provided on the one hand, but at the same time the more difficult it is to implement the method of cutting along a curved contour. Figure 1 shows the distribution of temperature in the heating of the material with laser beam 1, which has the form of an elliptical ring, the power density distribution of which in the cross section passing through the center O of beam 1 diminishes toward the center. At the moment of complete passage of beam 1 the temperature distribution curve has optimum form. Maximum heating occurs on the cutting line, but the entire region of irradiation is also sufficiently uniformly heated through. Upon subsequent cooling of the region of irradiation the tensile stresses in this case will have high values, and the possibility of overheating the material along the cutting line is practically excluded.

According to the proposed invention, it is expedient to accomplish cutting with a beam that has a shape essentially corresponding with the cutting contour on the surface of the material. Figure 2 shows a schematic drawing of such cutting.

Here a beam 1, which has the shape of an ellipse elongated along the cutting line, and coolant 2 are used in the linear section. In the curved sections the beam has shapes 3 and 4, which respectively coincide with the cutting contour.

Figure 3 shows an example of cutting along a curved contour that has the form of a circumference of radius  $R_1$  and  $R_2$ .

On the left (variation I) is shown the scheme of cutting by the traditional method, where elliptical beams 5 and 6 are oriented on a tangent.

According to the invention (II) it is expedient to accomplish the heating with beam 7 and 8, which have a crescent shape, with radius of curvature  $R_1$  and  $R_2$ , on the surface of the material, that essentially coincides with the radius of the corresponding circumference, when cutting along a curved contour having the form of a circle.

The use of a crescent shaped beam provides the following advantages:

- an improvement of the quality of cutting by providing symmetry of temperature fields during heating;
- an improvement of the precision of cutting owing to a decrease of the width of the zone of heating;
- an improvement of the precision of closure of the cracks;
- an improvement of the precision and reliability of the cutting process.

When cutting along a curved contour, it is expedient to accomplish heating with a beam that has on the surface of the material essentially the shape of the closed contour. For example, when cutting along a circumference of small diameter, it is expedient to shape the laser radiation on the surface of the material into a beam of circular shape, and the diameter of the circular beam should essentially coincide with the diameter of the circumference. In this case for cutting it is sufficient to move the coolant over the circular contour while keeping the material and laser beam stationary.

However, the best result can be obtained with simultaneous rotary motion both of the laser beam and the coolant, since this assures optimum conditions for heating and cooling of the material.

Such a cutting scheme can be used not only when cutting on a circumference of small diameter, but also when cutting on rectilinear blanks or blanks with small rounding radii. The cutting of a blank of arbitrary shape with a laser beam is characterized by the high requirements for the quality of finishing, the small size and precision of geometric sizes.

In a number of cases it is expedient to additionally apply a score on the surface of the material on the cutting line primarily before the beginning of cooling of the region of irradiation of the material.

The technique of applying a score is not novel in industry, and is frequently used in any thermal cutting both of sheet materials and of tubes. However, in our method of cutting, along with the industrial techniques listed above, the application of a score provides a completely new effect, it makes it possible to obtain very high cutting precision and edge quality without requiring additional machining. In addition, the application of a score makes it possible to improve the reliability and repeatability of the process of cutting along a curved contour.

One additional feature of our technique of applying a score that distinguishes it from previously known analogous industrial techniques should be pointed out.

For example, in the prototype method the application of a score is accomplished before the beginning of laser heating of the cutting line. However, when cutting quartz glass the subsequent heating would produce annealing, i.e., alleviation of stresses at the stress concentrator. Moreover, such a score cannot serve as the initial point for initiation of a parting crack. Therefore, in a number of cases, including the cutting of quartz glass, the score should be applied immediately before the beginning of cooling of the region of irradiation of the material, during the time of heating or immediately after the end of it.

In this case the depth and width of the applied score can be substantially less than is necessary in the previous cases of the traditional use of a score. And since the dimensions of the score are smaller, this provides an improvement of quality of cutting.

Moreover, it was established that in a number of cases the application of a score as such is not required at all. After heating the cutting line, it is enough for initiation of a crack to apply to the material additional, for example mechanical stresses, to it before the beginning of cooling of the region of irradiation of the material.

Let us discuss a specific example of an embodiment of the method.

Example.

Sheet glass 1.1 mm thick is cut into blanks for optomagnetic disks with outside diameter 130 mm and inside diameter 15 mm. A  $\text{CO}_2$  laser with maximum radiation power of 45 W is used. Additional heating of the glass was not used. Conical-cylindrical optics that form crescent-shaped beams 32 mm long over the periphery of an outside circumference of the disk blank and 15 mm over the inside circumference were used in the optical focusing system. Point scoring was accomplished with a diamond needle. The coolant (an water mixture) was fed to the cutting point through a hole in the needle. The coolant flow rate was 0.1 ml/min. The cutting speed was 150 mm/sec over the large circumference and 100 mm/sec over the inner circumference. The cutting precision was 5  $\mu\text{m}$ .

Examples of realization of cutting will be described in more detail in the closure of the operation of the device.

Let us look at variations of the device that realize the proposed method of cutting nonmetallic materials.

The device for cutting nonmetallic materials, for example sheet materials, consists of a source of thermal radiation, for example laser 9 (Figure 4), on the optical axis of which is mounted optical focusing system 10, which consists of pivoted mirror 11 and focusing lens 12, which forms the laser beam 13 onto the surface of material 14 in the zone of cutting 15. In direct proximity to the cutting zone 15 is situated mechanism 16 for feed of coolant, which is made in the form of a nozzle 17 and water and air valves 18 and 19, which provide the feed of an air-water mixture, which is an effective coolant, into cutting zone 15. The mechanism 16 for feed of coolant is provided with guides with micrometer screws (not shown) that assure the possibility of precision movement of it along the X and Y coordinates.

Next to cutting zone 15 is situated mechanism 20 for application of a score, which is made in the form of a diamond needle or other cutting tool. This mechanism 20 is mounted with the possibility of moving in the vertical plane up to contact with material 14 at the specified point with the specified controllable force and for a specified interval of time. Under the effect of the diamond needle on the stationary material 14 a point defect of specified depth is formed, and the action of the diamond needle on the moving material 14 forms a score of specified length and depth on the surface of the material 14.

To hold the material in the cutting process the device contains a means 21 for securing the material being cut, which can be made in the form of securing plates. In this case the securing plates are made with lateral mirror faces at a  $45^\circ$  angle and, besides the function of securing the material, contribute to initiation of the crack at the edge of the plate.

However, the most convenient means of securing the material is by means of a vacuum.

As a means for relative movement of material 14 and the basic functional units, which are the optical focusing system 10, the coolant feed mechanism 16 and the scoring mechanism 20, one can use different variations of coordinate tables and turntables for movement of material 14 or optical transport means for movement of the laser beam and coolant relative to the fixed material.

In this specific device a system of turntable 23 and coordinate table 24 is used as the means 22 for the relative movement of the functional units of the device relative to the material being cut.

Control of the securing means 21, of means 22 relative movement of material 14, of the coolant feed mechanism 16 (cooling by means of control of the water and air valves 18 and 19), scoring mechanism 20, optical focusing system 10 and laser 9 is accomplished with the aid of control system 25. Control system 25 accomplishes control and connection among all of the

functional elements and actuating mechanisms of the device in dependence on the specified program.

For transformation of a beam of laser radiation with Gaussian power density distribution to a beam that on the surface of the material has in the cross section passing through the center of the beam power density distribution that diminishes from the periphery to the center of the beam, the optical focusing system 10 contains an optical element, for example axicon 26.

This same optical element can also be used to form a beam having the shape of a ring coinciding with the contour of cutting along a circumference.

It should be noted that to obtain a laser beam with the specified power density distribution and specified shape on the surface of the material there are a large number of design solutions that utilize not only transparent optical elements, but also reflecting metal optics as well as combinations of them.

In particular, to realize the method of cutting by the scheme shown in Figure 2, one can use a stationary pivoted mirror copying the cutting contour, which will convert a ribbon beam formed by the cylindrical optics into a curved beam that essentially coincides with the cutting contour. This same result can be achieved by using a movable flexible mirror element that moves along a copying mechanism and repeats the form of the cutting contour.

In a number of cases, for preliminary heating of the material 14, the device contains a means for heating material made in the form of a flat heater 27 that is situated on turntable 23.

One can also use any known source of thermal radiation, for example a laser, infrared lamp or gas burner as a means for preliminary heating of the material.

We will discuss the sequence of operation of the device for cutting nonmetallic materials using as an example the fabrication of a part with a closed curved contour 28 (Figure 5).

Actuation of mechanism 20 applies the score line at point C of contour 28 (Figure 5). At the same time the turntable 23 (Figure 4) turns in the counterclockwise direction at a linear velocity  $V = wR$ , where  $w$  is the angular velocity and  $R$  is the radius of the contour, and after a time interval  $t_0 = \pi R/2 v$ , laser 9 is actuated. The laser beam 13 begins heating of the surface of material 14, beginning from the moment when score 29 is at point D and coincides essentially with the center of beam 30. Then after time interval  $t_1 = (b/2 + h)/v$  valves 18 and 19 are opened, and an air-water jet is directed to the point where the score line is located (Fig. 5). As a result of repeated actuation of the valves 18 and 19, the air-water jet follows the formation of a parting crack, which spreads along contour 28 as material 14 turns. In time

$$t_2 = \frac{2\pi R + b/2}{v}$$

laser beam 30 has acted on the material 14 and coolant 2 has been fed to the cutting zone. At the end of time  $t_2$  laser 9 is switched off, valves 18 and 19 are closed and the turntable 23 drive is disengaged.

The sequence and initial moment of actuation of the basic functional units in cutting along a closed curved contour must be especially strictly observed. Thus, the heating of the material 14 must begin at the time when score 29 essentially coincides with the optical axis of focusing lens 12, i.e., it is in the center of the laser beam 30. Even more importantly, the beginning of feed of coolant 2 must be accomplished immediately at the point with the applied score 29, i.e., with a time delay with respect to the start of heating by laser beam 30 of

$$t_1 = \frac{b/2 + l}{v}$$

If the feed of coolant 2 begins later than this moment, the crack will not form, while if it begins earlier, the crack will develop in the opposite direction, which will have an adverse effect when the crack is completed along the closed contour 28.

In the case of linear cutting these limitations are less critical and have less effect on the precision and quality of cutting.

In addition, it is very important that deactivation of coolant 2 after completion of the technological cycle not take place at the same time as the disengagement of laser 9, but rather with the same time delay with which it was initiated. Otherwise, completion of the crack along the entire contour will not occur.

An important condition in linear cutting and in cutting along a curved contour is strict orientation of the position of coolant 2 along the cutting line. Even a slight deviation of the position of coolant 2 from the assigned contour 30 will lead to a noticeable degradation of the quality of cutting and a loss of the precision of cutting.

These advantages of the described method of cutting normalize the materials, primarily glass, and of the device for accomplishing it are supported by the entire set of distinctive features, since the exclusion of any of them does not assure achievement of the desired goal.

The method of cutting with the aid of the proposed device was tested and realized for cutting of high precision articles of glass, quartz, sital and a number of single crystal materials

and showed indisputable advantage over the traditional methods of fabricating high precision parts and articles.

The use of the described method of cutting and the device, along with reducing the laboriousness of the process by eliminating the operations of diamond-abrasive polishing and finishing of the ends of articles, provides improved mechanical strength and operational reliability due to the defect-free character of the edge after laser cutting.

#### Industrial applicability

This invention can be used in automobile construction to make windows and mirrors, in the electronics industry for making precision substrates for liquid crystal indicators and photo templates, magnetic and optomagnetic disks, in the clock industry for making watch glasses, in the aviation industry for making articles of structural optics, in the field of architecture and building materials for dimensional cutting of glass, including in the production process, and in other fields of technology and production, where high precision articles of nonmetallic materials are used. This invention can be successfully used for cutting not only of sheet materials, but also for cutting tubes and other articles that have the form of bodies of revolutions.

#### Claims

1. A method of cutting nonmetallic materials, which includes heating the cutting line with a source of thermal radiation, for example a laser beam, local cooling of the region of irradiation with the aid of a coolant with relative travel of the region of irradiation and, at least, the coolant, which is distinguished by the fact that heating is accomplished with a beam having radiation power density distribution that diminishes from the periphery to the center of the beam in the cross section passing through the center of the beam on the surface of the material.
2. A method as in Claim 1, which is distinguished by the fact that the shape of the beam on the surface of the material essentially coincides with the cutting contour.
3. A method as in Claims 1 and 2, which is distinguished by the fact that in the case of cutting along a curved contour having the form of a circumference, heating is accomplished with a beam having a crescent shape with radius of curvature essentially coinciding with the radius of the circumference on the surface of the material.
4. A method as in Claims 1 and 2, which is distinguished by the fact that in cutting along a closed contour heating is accomplished with a beam having essentially the form of the closed contour on the surface of the material.
5. A method as in Claims 1, 2, 3 and 4, which is distinguished by the fact that a score is additionally applied to the surface of the material on the cutting line, preferably before the beginning of cooling of the region of irradiation of the material.



6. A device for cutting nonmetallic materials, which consists of a source of thermal radiation, for example laser (9), on the optical axis of which is mounted, with the possibility of moving along it, optical focusing system (10), which forms a laser beam (13) on the surface of the material (14) and near the region of irradiation of the material, between the optical focusing system (10) and the material (14), is mounted, with the possibility of moving relative to the region of irradiation of the material, mechanism (16) for feed of coolant into the cutting zone, and the device also contains a means (21) of securing the material being cut (14) and a means (22) for relative movement of the material at least relative to the coolant, which is distinguished by the fact that the sequence and moment of actuation of laser (9) with optical focusing system (10) and mechanism (16) for feed of the coolant, and also the place and position of action of the laser beam (13) and mechanism (16) for feed of the coolant are connected to means (22) for their relative movement via a control system (25) and are chosen with consideration of the starting point of cutting in the formation of the assigned contour of cutting of nonmetallic material (14).

7. A device as in Claim 6, which is distinguished by the fact that the optical focusing system (10) contains an optical element, for example axicon (26), that converts the beam of laser radiation with Gaussian power density distribution to a beam that has a power density distribution that diminishes from the periphery to the center of the beam in the cross section on the surface of the material (14).

8. A device as in Claim 6 and 7, which is distinguished by the fact that the optical focusing system (10) contains an optical element that shapes the laser beam on the surface of material (14) into a shape that essentially coincides with the cutting contour.

9. A device as in Claims 6, 7 and 8, which is distinguished by the fact that it additionally contains a mechanism (20) for application of a score, which is controlled by means of a control system (25) and is mounted with the possibility of being regulated in time and force of action at the specified point on the surface of material (14), and is situated between the optical focusing system (10) and the material (14).

10. A device as in Claims 6, 7, 8 and 9, which is distinguished by the fact that the control system (25) is connected to the mechanism for application of a score (20), the optical focusing system (10) and the mechanism for feed of coolant (16) so that actuation of the optical focusing system (10) is accomplished when the optical axis of the laser beam (13) coincides essentially with the center of the score (20), and the time of actuation of the mechanism (16) for feed of coolant (2) has a delay  $t_1$  with respect to the moment when the focusing system (10), which is defined by the ratio:

$$t_1 = \frac{b/2 + l}{v}$$

where  $b$  is the length of the laser beam on the surface of the material;

$v$  is the velocity of relative travel of the material and the coolant;

$l$  is the distance from the laser beam (30) to the coolant (2);

and after actuation the optical focusing system (10) and mechanism (16) for feed of coolant (2) are in the working position for at least one technological cycle, which is defined by the ratio:

$$t_2 = \frac{L + b/2}{v}$$

where  $L$  is the length of the cutting contour;

$t_2$  is the time of one technological cycle.

11. A device as in Claims 6, 7, 8, 9 and 10, which is distinguished by the fact that it is additionally provided with a means for heating material (14).

12. A device as in Claim 11, which is distinguished by the fact that a flat heater (27), on which the material to be cut (14) is situated is used as a means for heating the material.

13. A device as in Claim 11, which is distinguished by the fact that a source of thermal radiation, for example a laser, infrared lamp or gas burner, is used as means for heating material (14).

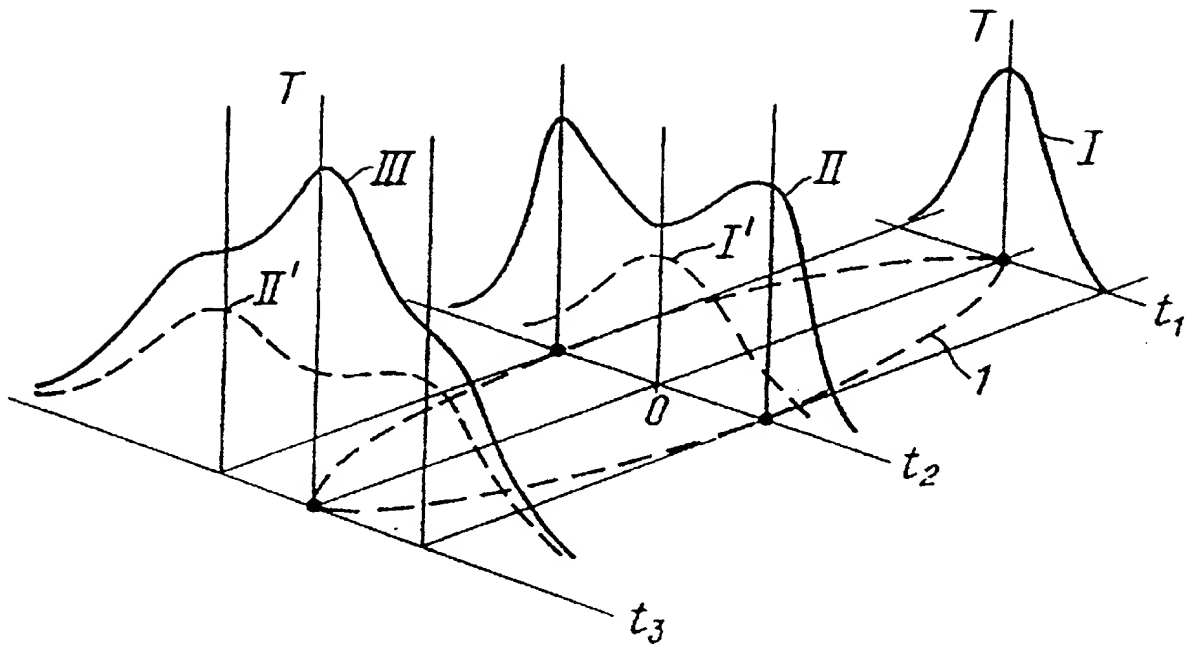


FIG.1

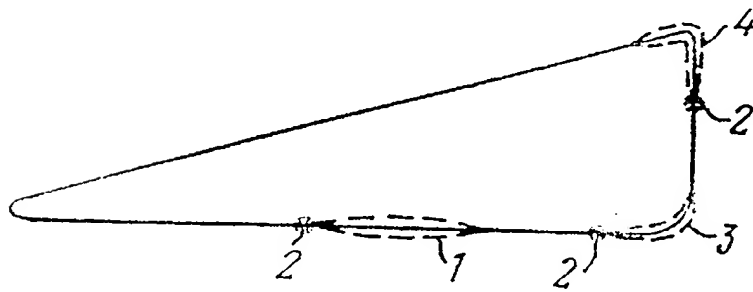


FIG.2

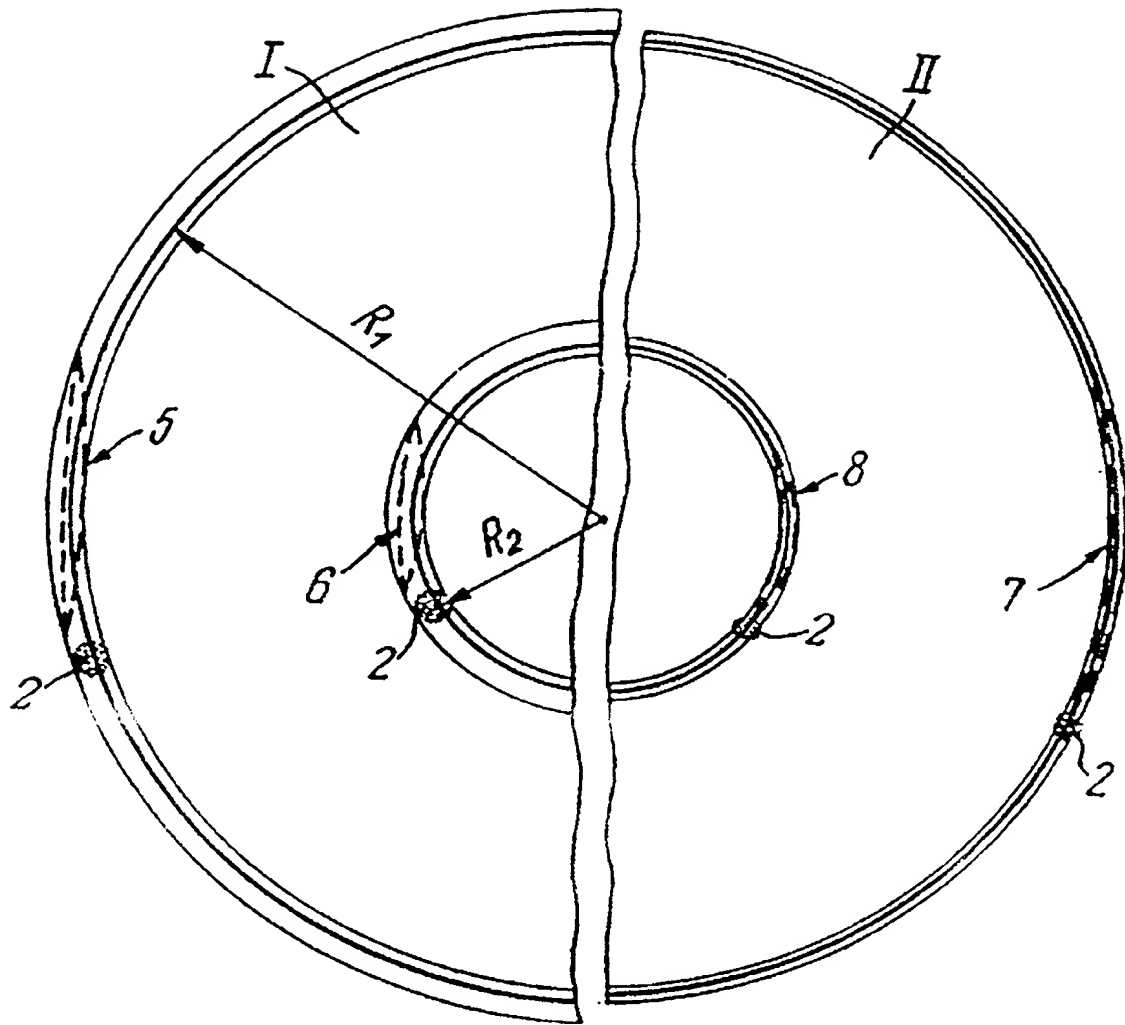
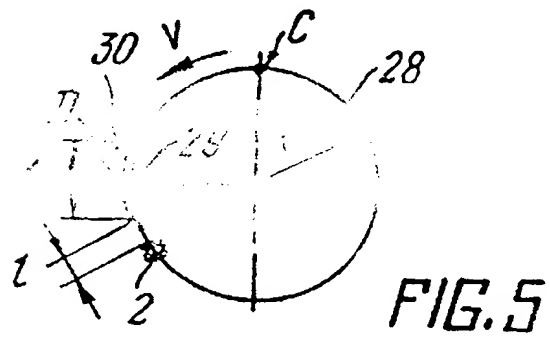
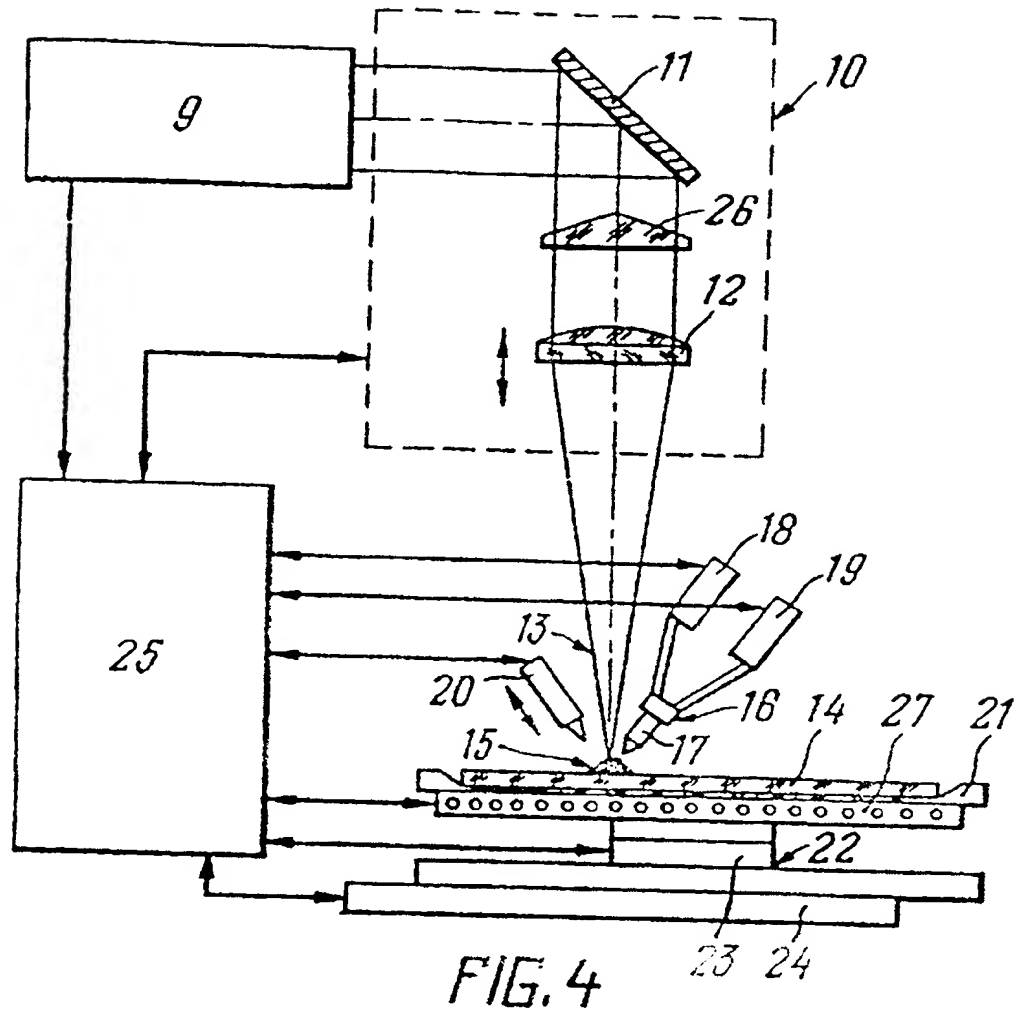


FIG. 3



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 94/00276

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
B23K 26/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
B23K 26/00, 26/06, 26/08, 26/14		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO, A1, 93/20015 (PCT/GB 93/00699), (TECHNOLOGY LIMITED), 14 October 1993 (14.10.93), cited in description	1,5 2-4,6-13
Y A	US, A, 5237150 (FANUC LTD.), 5 August 1993 (05.08.93), fig. 16, description column 3, p. 25-43	1 6-13
Y A	US, A, 5084604 (U.S. PHILIPS CORPORATION), 28 January 1992 (28.01.92)	5 2-4,6,9
A	US, A, 5004890 (AMADA COMPANY, LIMITED), 02 April 1991 (02.04.91)	6-13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referred to in the description</p> <p>"T" document published after the international filing date but before the priority date of the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Z" document relating to the same prior art</p>		
Date of international search of the international search		Date of mailing of the international search report
02 August 1995 (02.08.95)		16 August 1995 (16.08.95)
Name and mailing address of the ISA/ RU		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

РСТ

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
Международное бюро



МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ  
С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(51) Международная классификация изобретения: B23K 26/00	A1	(11) Номер международной публикации: WO 96/20062 (43) Дата международной публикации: 4 июля 1996 (04.07.96)
---	----	--

(21) Номер международной заявки: PCT/RU94/00276  
(22) Дата международной подачи: 23 декабря 1994 (23.12.94)

(71)(72) Заявитель и изобретатель: КОНДРАТЕНКО  
Владимир Степанович [RU/RU]; 111402 Москва, ул.  
Вешняковская, д. 12, корп. 1, кв. 41 (RU) [KONDRA-  
TENKO, Vladimir Stepanovich, Moscow (RU)].

(81) Указанные государства: CA, JP, KR, RU, US, евро-  
пейский патент (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB,  
GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

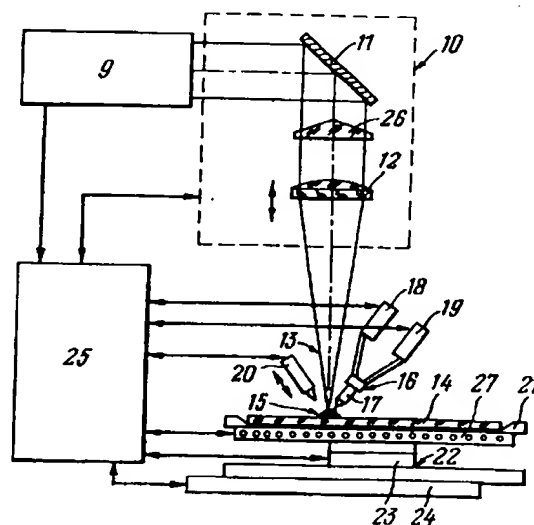
Опубликована  
С отчетом о международном поиске.

(54) Title: METHOD OF CUTTING NON-METALLIC MATERIALS AND A DEVICE FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Название изобретения: СПОСОБ РЕЗКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Abstract

The invention concerns a method of cutting non-metallic materials using thermoelastic stresses. It involves heating the line using, for example, a laser beam whose power density distribution at the material surface in the cross section across the beam centre diminishes from the periphery of the beam to the centre, the beam shape at the material surface substantially matching the cutting contour. The proposed device according to one of the variants comprises a laser (9), an optical focussing system (10) containing an axicon (26) and a focussing objective (12), a coolant supply mechanism (16), a mechanism (20) for making the cut, means (22) for the relative displacement of the material (14) being cut, and means (27) for supplying additional heat to the material. The principal functional units and mechanisms are controlled by a control system (25) using a specific algorithm.



Способ резки неметаллических материалов под воздействием термоупругих напряжений заключается в том, что нагрев линии осуществляют, например лазерным пучком, имеющим на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от периферии к центру пучка, при этом форма пучка на поверхности материала по существу совпадает с контуром резки.

Устройство по одному из вариантов содержит лазер 9, оптическую фокусирующую систему 10, содержащую аксикон 26 и фокусирующий объектив 12, механизм 16 подачи хладагента, механизм 20 нанесения надреза, средство 22 относительного перемещения разрезаемого материала 14 и средство 27 дополнительного нагрева материала. При этом в устройстве реализуется управление основными функциональными узлами и механизмами по заданному алгоритму с помощью системы управления 25.

#### ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюр, в которых публикуются международные законы в соответствии с РСТ.

AT	Австрия	FI	Финляндия	MR	Мавритания
AU	Австралия	FR	Франция	MW	Малави
BE	Бельгия	GA	Габон	NE	Нигер
BE	Бельгия	GB	Великобритания	NL	Нидерланды
BF	Буркина-Фасо	GN	Гвинея	NO	Норвегия
BG	Болгария	GR	Греция	NZ	Новая Зеландия
BJ	Бенин	HU	Венгрия	PL	Польша
BR	Бразилия	IE	Ирландия	PT	Португалия
CA	Канада	IT	Италия	RO	Румыния
CF	Центральноафриканская Республика	JP	Япония	RU	Российская Федерация
BY	Беларусь	KR	Корейская Народно-Демократическая Республика	SD	Судан
CG	Кот-д'Ивуар	KZ	Казахстан	SE	Швеция
CH	Швейцария	LI	Лихтенштейн	SI	Словения
CI	Кот д'Ивуар	LK	Шри-Ланка	SK	Словакия
CM	Камерун	LU	Люксембург	SN	Сенегал
CN	Китай	LV	Латвия	TD	Чад
CS	Чехословакия	MC	Монако	TG	Того
CZ	Чешская Республика	MG	Малагаскар	UA	Украина
DE	Германия	ML	Мали	US	Соединенные Штаты
DK	Дания	MN	Монголия	UZ	Узбекистан
ES	Испания			VN	Вьетнам



## СПОСОБ РЕЗКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

### Область техники

5 Изобретение относится к способам обработки материалов, в частности, к способу резки неметаллических материалов, преимущественно стекла, кварца, керамики и устройству для его осуществления. Изобретение может  
10 быть использовано для высокоточной резки как листовых неметаллических материалов, так и изделий, имеющих форму тел вращения, например, стеклянных трубок.

### Предшествующий уровень техники

Существует большое количество самых различных способов резки неметаллических материалов: термическая или огневая резка, механическое  
15 скрайбирование с помощью алмазного или твердосплавного инструмента, резка с помощью абразивного инструмента, а также различные разновидности лазерной резки. В каждом случае решается определенная техническая задача, и обеспечиваются необходимые требования к производительности, качеству и  
точности резки.

20 В ряде случаев для достижения высоких требований к точности и качеству обработанных кромок прибегают к предварительной резке с последующей механической доводкой кромок. Это приводит к высокой трудоемкости и, как следствие, высокой себестоимости получаемых изделий.

Поэтому поиск и разработка новых эффективных способов резки  
25 неметаллических материалов и устройств, реализующих эти новые способы резки, является актуальной задачей.

Известен способ резки стеклянных трубок, включающий нанесение надреза по линии реза, последующей нагрев линии реза лазерным пучком, при этом пакет трубок вращают перед лазерным ленточным пучком с одновременным перемещением вдоль него, а после нагрева линию реза 5 охлаждают (А.С. СССР N 857025).

Этот способ позволяет получить удовлетворительные результаты при резки тонкостенных трубок малого диаметра из стекла с коэффициентом линейного термического расширения свыше  $50 \times 10^{-7}$  град. Однако он мало 10 пригоден при резке трубок из термостойкого стекла и не может обеспечить высокого качества резки листовых материалов. Это связано с тем, что при резке трубок по всему замкнутому кольцевому контуру при многократном вращении перед лазерным ленточным пучком происходит постепенное увеличение термонапряжений, а при последующем охлаждении линии реза происходит образование сквозной разделяющей трещины по всему 15 кольцевому контуру. Применение такой схемы резки для листовых материалов нецелесообразно и трудно реализуемо.

Известен также способ резки неметаллических материалов, включающий нагрев линии реза тепловым, например, лазерным пучком, локальное охлаждение участка облучения с помощью хладагента при 20 относительном перемещении участка облучения и хладагента (PCT/GB93/00699).

Этот способ дает неплохой результат при прямолинейной резке неметаллических листовых материалов, но не может обеспечить высокого качества и высокой точности резки по криволинейному контуру. Кроме того, 25 указанный способ имеет низкую стабильность процесса резки при высоких значениях плотности мощности излучения и высоких скоростях резки.

Это связано с тем, что при использовании лазерного пучка эллиптического сечения с гауссовым распределением плотности мощности излучения нагрев осуществляется в очень узкой зоне с резким увеличением 30 температуры от периферии к центру. Получить устойчивый процесс термораскалывания при высоких значениях скорости, а следовательно, и плотности мощности чрезвычайно сложно, так как нагрев материала зачастую сопровождается перегревом его в центральной части участка облучения, то есть превышением температуры размягчения материала, что недопустимо для 35 получения высокого качества резки.

Кроме того, при использовании указанного способа резки неметаллических материалов по замкнутому криволинейному контуру качество резки изделий низкое. Как известно, при резке по криволинейному

контур, согласно указанному изобретению, эллиптический пучок должен быть ориентирован по касательной в любой точке криволинейного контура. Однако это приводит к уширению криволинейных участков облучения и нарушению симметрии температурных полей относительно линии реза, что  
5 резко ухудшает качество резки. Возникают серьезные трудности и при замыкании разделяющей трещины в случае резки изделий с замкнутым криволинейным контуром.

Известно также устройство для резки неметаллических материалов, содержащее лазер, на оптической оси которого установлена с возможностью  
10 перемещения вдоль нее оптическая фокусирующая система, формирующая лазерный эллиптический пучок на поверхности материала, а вблизи участка облучения материала между оптической фокусирующей системой и материалом установлен с возможностью перемещения относительно участка облучения материала механизм подачи хладагента в зону резки, при этом  
15 устройство содержит средство фиксации разрезаемого материала и средство относительного перемещения материала и лазерного пучка и хладагента (А.С. СССР 1231813).

В данном устройстве в качестве средства относительного перемещения материала, обеспечивающего получение деталей с криволинейным контуром  
20 резки, использован координатный стол с перемещением по координатам X и Y, а также поворотный стол, обеспечивающий угловое перемещение по координате  $\varphi$ . Резка осуществляется при перемещении материала перед неподвижным лазерным эллиптическим пучком, нагревающим узкую зону по линии реза, после подачи в зону нагрева через форсунку воздушно-водяной  
25 смеси, являющейся эффективным хладагентом.

Устройство обеспечивает прямолинейную резку пластин по координатам X и Y. Начало резки осуществляют каждый раз с края пластины, на кромке которой всегда находится достаточное количество ослабленных мест с микродефектами, являющимися концентраторами  
30 напряжений, от которых и происходит образование разделяющей трещины в процессе резки.

Однако данное устройство не может обеспечить высокого качества резки при получении замкнутого криволинейного контура резки. Это связано с отсутствием дефектов на поверхности материала по линии реза, которые  
35 могли бы служить началом зарождения и развития трещины. Кроме того, описанное устройство неэффективно при резке листовых материалов толщиной свыше 2 мм, так как образование разделяющей трещины происходит с низкой скоростью, а ее глубины недостаточно для получения

качественного разделения.

#### Раскрытие изобретения

В основу настоящего изобретения положена задача создать способ  
5 резки неметаллических материалов и устройство для его осуществления, в  
которых за счет изменения условий нагрева и параметров лазерного пучка, а  
также за счет применения в устройстве специальных конструктивных  
элементов и системы управления исполнительными органами обеспечивается  
повышение надежности и производительности процесса, а также качества и  
10 точности резки.

Поставленная задача решается тем, что в способе резки  
неметаллических материалов, включающем нагрев линии реза тепловым,  
например, лазерным пучком, локальное охлаждение участка облучения с  
помощью хладагента при относительном перемещении участка облучения и  
15 хладагента, согласно изобретению, нагрев осуществляют пучком, имеющим на  
поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр  
пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от  
периферии к центру пучка.

Это обеспечивает оптимальные условия нагрева материала по линии  
20 реза, обеспечивающие с одной стороны, более равномерный прогрев по всей  
ширине участка облучения материала, с другой стороны, исключающие  
перегрев материала по линии реза. Применение лазерного пучка с указанным  
распределением плотности мощности позволяет значительно расширить  
диапазон технологических параметров резки и повысить надежность и  
25 повторяемость процесса резки с одновременным повышением качества резки.

Необходимо нагрев материала по линии реза осуществлять пучком,  
имеющим на поверхности материала форму, по существу совпадающую с  
контуром резки.

Необходимо при резке по криволинейному контуру, имеющему  
30 форму окружности, нагрев осуществлять пучком, имеющим на поверхности  
материала серповидную форму с радиусом кривизны, по существу  
совпадающим с радиусом окружности.

При резке по замкнутому контуру целесообразно нагрев осуществлять  
пучком, имеющим на поверхности материала, по существу, форму замкнутого  
35 контура.

Применение для нагрева материала пучка, имеющего форму, по  
существу совпадающую с контуром резки, обеспечивает симметричное  
распределение термоупругих напряжений, обеспечивающее в свою очередь

повышение качества резки по криволинейному контуру, а также повышение производительности резки.

Целесообразно перед началом охлаждения участка облучения материала наносить надрез на поверхности материала на линии реза.

5 Это обеспечивает повышение точности резки, а также облегчает условие зарождения разделяющей трещины на поверхности материала, что повышает надежность процесса резки.

Поставленная задача решается также тем, что в устройстве для резки неметаллических материалов, содержащем источник теплового излучения, например, лазер, на оптической оси которого установлена с возможностью перемещения вдоль нее оптическая фокусирующая система, формирующая лазерный пучок на поверхности материала, а вблизи участка облучения материала между оптической фокусирующей системой и материалом установлен с возможностью перемещения относительно участка облучения материала механизм подачи хладагента в зону резки, а также устройство содержит средство фиксации разрезаемого материала и средство относительного перемещения материала, по крайней мере, относительно хладагента, согласно изобретению, последовательность и момент включения лазера с оптической фокусирующей системой и механизм подачи хладагента, а также место и продолжительность воздействия лазерного пучка и механизма подачи хладагента связаны со средством их относительного перемещения через систему управления и выбраны с учетом места начала резки при получении заданного контура резки неметаллического материала.

25 Это обеспечивает высокое качество резки по замкнутому криволинейному контуру за счет точного зарождения и замыкания разделяющей трещины.

Целесообразно, чтобы оптическая фокусирующая система содержала оптический элемент, например, аксикон, преобразующий пучок лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности в пучок, имеющий на поверхности материала в поперечном сечении распределение плотности мощности, убывающей от периферии к центру пучка.

Необходимо, чтобы оптическая система содержала оптический элемент, формирующий на поверхности материала лазерный пучок в форму, по существу совпадающую с контуром резки.

35 Применение таких оптических элементов обеспечивает получение оптимального перераспределения плотности мощности излучения в пучке на поверхности материала, а также оптимизировать условия нагрева материала по любому контуру резки. Это обеспечивает повышение надежности и

производительности процесса и качества резки.

В некоторых случаях целесообразно устройство снабжать механизмом нанесения надреза, управляемым посредством системы управления и установленным с возможностью регулируемого во времени и усилию 5 воздействия в заданной точке поверхности материала, и размещенным между оптической фокусирующей системой и материалом.

Желательно систему управления соединить с механизмом нанесения надреза, оптической фокусирующей системой и механизмом подачи хладагента так, что включение оптической фокусирующей системы 10 производится при совпадении оптической оси лазерного пучка, по существу, с серединой надреза, а время включения механизма подачи хладагента имеет задержку  $t_1$  по отношению к моменту включения оптической фокусирующей системы, определяемую соотношением:

$$b/2 + l$$

$$15 \quad t_1 = \frac{b/2 + l}{v},$$

где  $b$  - длина лазерного пучка на поверхности материала;

$v$  - скорость относительного перемещения;

$l$  - расстояние от лазерного пучка до хладагента;

20 при этом после включения оптическая фокусирующая система и механизм подачи хладагента находятся в рабочем положении в течение, по крайней мере, одного технологического цикла, определяемого соотношением:

$$L + b/2$$

$$25 \quad t_2 = \frac{L + b/2}{v}$$

где  $L$  - длина контура резки;

$t_2$  - время одного технологического цикла.

Использование в устройстве механизма нанесения надреза, управляемого через систему управления, а также работа других 30 исполнительных органов и механизмов устройства в зависимости от места начала резки, то есть от места нанесения надреза, позволяет получить абсолютно высокую повторяемость процесса резки любых сложных прецизионных изделий.

Также желательно в ряде случаев устройство дополнительно снабжать 35 средством для нагрева, при этом в качестве средства для нагрева материала можно использовать плоский нагреватель, на котором размещен разрезаемый материал.

В ряде случаев, целесообразно в качестве средства для нагрева

материала использовать источник теплового излучения, например, лазер, инфракрасную лампу или газовую горелку.

Применение таких источников тепла обеспечивает более эффективный нагрев объемных слоев материала и требует меньших энергетических затрат 5 для прогрева материала непосредственно в зоне резки.

Предварительный нагрев материала обеспечивает увеличение скорости резки и глубины разделяющей трещины. Предварительный нагрев особенно целесообразен при резке материалов толщиной свыше 2 мм.

Таким образом, за счет оптимизации условий нагрева и параметров 10 пучка, а также благодаря применению в устройстве описанных конструктивных элементов, включая управление функциональными органами устройства, через систему управления достигается повышение надежности и производительности процесса, а также качества и точности резки.

15 Лучший вариант осуществления изобретения

В дальнейшем изобретение поясняется на примере выполнения со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:

фиг. 1 изображает графическую зависимость распределения температуры нагрева поверхности материала лазерным пучком, имеющим в 20 поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от периферии к центру пучка;

фиг.2 - схему резки по криволинейному контуру пучком, имеющим на поверхности материала форму, совпадающую по существу с контуром резки;

25 фиг.3 - схему резки по окружности в соответствии со способом - прототипом (I) и в соответствии с предлагаемым изобретением (II);

фиг.4 - устройство для резки неметаллических материалов, согласно изобретению;

фиг.5 - схему резки по замкнутому криволинейному контуру.

30

Способ резки неметаллических материалов заключается в следующем. При нагреве поверхности материала лазерным излучением инфракрасного диапазона, например, излучением  $\text{CO}_2$ - лазера с длиной волны 10,6 мкм, для которого стекло, кварц, керамика и ряд других хрупких неметаллических 35 материалы являются непрозрачными, в поверхностных слоях в зоне облучения возникают напряжения сжатия. После локального охлаждения участка облучения термонапряжения меняют знак на противоположный, то есть на границе "нагрев-охлаждение" возникают напряжения растяжения,

которые при определенных условиях приводят к образованию в материале разделяющей трещины. К основным параметрам, влияющим на технологические режимы резки, относятся в первую очередь параметры лазерного пучка на поверхности материала. Например, применение лазерного пучка эллиптической формы, вытянутого вдоль линии резки, приводит к увеличению скорости резки и глубины образующейся трещины.

Однако использование пучка лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности для режима термораскалывания имеет существенные трудности и ограничения. В первую очередь это связано с тем, что такой пучок вызывает очень интенсивный нагрев материала в центральной части участка облучения с резким спадом температуры к периферии. Такие условия нагрева не являются оптимальными, так как зачастую приводят к перегреву материала вдоль линии реза, когда температура нагрева превышает температуру размягчения материала, что приводит к резкому ухудшению качества резки.

Согласно предлагаемому изобретению, необходимо нагрев линии реза осуществлять пучком, имеющим на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от периферии к центру пучка. На фиг. 1 показано распределение температуры при нагреве материала лазерным пучком 1, имеющим форму эллиптического кольца, распределение плотности мощности у которого в поперечном сечении, проходящем через центр О пучка 1, убывает к центру. К моменту полного прохождения пучка 1 кривая распределения температуры имеет оптимальную форму. Максимум нагрева приходится на линию реза, однако и весь участок облучения достаточно равномерно прогрет. При последующем охлаждении участка облучения напряжения растяжения в данном случае будут иметь большие значения, а возможность перегрева материала по линии реза практически исключается.

Следует отметить, что положительный результат достигается не только при использовании лазерного пучка кольцевого сечения, когда плотность мощности убывает от периферии к центру, но и при использовании пучка с практически равномерным распределением по сечению плотности мощности излучения, и даже с невысоким ростом плотности мощности к центру.

Аналогичный положительный эффект может быть достигнут при использовании двух перекрывающихся гауссовых пучков, смещенных в поперечном направлении друг относительно друга.

Описанный выше прием оптимизации условий нагрева материала за



счет применения лазерного пучка с заданным распределением плотности мощности дает одинаково высокий результат как при прямолинейной резке по криволинейному контуру, так и при резке по криволинейному контуру, а также как при резке листовых материалов, так и при резке изделий, имеющих форму тел вращения, например, трубок.

Однако при резке по криволинейному контуру возникают дополнительные трудности, которые не встречаются при прямолинейной резке. Рассмотрим основные из них.

Известно, что применение лазерного эллиптического пучка, вытянутого вдоль линии реза, обеспечивает повышение производительности и точности резки. При резке по криволинейному контуру прибегали к ориентации эллиптического пучка по касательной в любой точке криволинейного контура. Однако это приводит к различным условиям нагрева на прямолинейных и криволинейных участках контура резки. И чем более вытянут пучок вдоль линии реза, тем, с одной стороны, выше обеспечивается скорость резки, но одновременно, с другой стороны, труднее реализуем способ резки по криволинейному контуру и хуже качество резки.

Согласно изобретению, целесообразно нагрев осуществлять пучком, имеющим на поверхности материала форму, по существу совпадающую с контуром резки. На фиг.2 показана схема такой резки.

Здесь на прямолинейном участке используется пучок 1, имеющий форму эллипса, вытянутого вдоль линии реза, и хладагент 2. На криволинейных участках пучок имеет форму 3 и 4, соответственно совпадающую с контуром резки.

На фиг.3 показан пример резки по криволинейному контуру, имеющему форму окружности радиуса  $R_1$  и  $R_2$ .

Слева (Вариант 1) показана схема резки традиционным способом, когда эллиптические пучки 5 и 6 ориентированы по касательной.

Согласно изобретению (II), целесообразно при резке по криволинейному контуру, имеющему форму окружности, нагрев осуществлять пучком 7 и 8, имеющим на поверхности материала серповидную форму, с радиусом кривины  $R_1$  и  $R_2$ , по существу совпадающим с радиусом соответствующей окружности.

Применение пучка серповидной формы обеспечивает следующие преимущества:

- повышение качества резки за счет обеспечения при нагреве симметрии температурных полей;

- повышение точности резки за счет уменьшения ширины зоны

нагрева;

- повышение точности замыкания трещины;
- повышение точности и надежности процесса резки.

При резке по замкнутому контуру целесообразно нагрев осуществлять пучком, имеющим на поверхности материала по существу форму замкнутого контура. Например, при резке по окружности малого диаметра, целесообразно лазерное излучение формировать на поверхности материала в пучок кольцевой формы, при этом диаметр кольцевого пучка должен, по существу, совпадать с диаметром окружности. В этом случае для резки достаточно совершить перемещение хладагента по кольцевому контуру при неподвижном материале и лазерном пучке.

Хотя лучший результат может быть получен при одновременном вращательном перемещении как лазерного пучка, так и хладагента, так как это обеспечивает оптимальные условия нагрева и охлаждения материала.

Такую схему резки можно использовать не только при резке по окружности малого диаметра, но и при вырезке прямоугольных заготовок или заготовок с небольшими радиусами закруглений. К такой резке целесообразно прибегать при массовом производстве миниатюрных деталей с жесткими требованиями к качеству обработки торцов и точности геометрических размеров.

В ряде случаев необходимо дополнительно на поверхности материала на линии реза наносить надрез преимущественно перед началом охлаждения участка облучения материала.

Прием нанесения надреза в технике не является новым, а часто используется при любой термической резке как листовых материалов, так и труб. Однако в нашем способе резки в совокупности с вышеперечисленными техническими приемами нанесение надреза дает совершенно новый эффект, а именно: позволяет получать очень высокую точность резки и качество кромок, не требующее никакой дополнительной обработки. Кроме того, нанесение надреза позволяет повысить надежность и повторяемость процесса резки по криволинейному контуру.

Следует указать еще на одну особенность нашего приема нанесения надреза, отличающую его от известных ранее аналогичных технических приемов.

Например, в способе-прототипе нанесение надреза осуществляется перед началом нагрева линии реза лазерным пучком. Однако при резке кварцевого стекла последующий нагрев произвел бы отжиг, то есть снятие

напряжений у данного концентратора напряжений. И такой надрез не может служить началом зарождения разделяющей трещины. Поэтому в ряде случаев, в том числе при резке кварцевого стекла, надрез следует наносить непосредственно перед началом охлаждения участка облучения материала, во время нагрева или сразу же после его завершения.

В этом случае глубина и ширина наносимого надреза может быть значительно меньше, чем необходимые в предыдущих случаях традиционного использования надреза. А поскольку размеры надреза уменьшаются, то это обеспечивает повышение качества резки.

10 Более того, установлено, что в ряде случаев нанесения надреза как такового не требуется вовсе. Достаточно после нагрева линии реза для зарождения трещины перед началом охлаждения участка облучения материала приложить к нему дополнительные, например, механические напряжения.

15 Рассмотрим конкретный пример реализации способа.  
Пример.

Произведена резка листового стекла толщиной 1,1 мм на заготовки для магнито-оптических дисков с наружным диаметром 130 мм и внутренним диаметром 15 мм. Использован  $\text{CO}_2$ -лазер с максимальной мощностью излучения 45 Вт. Дополнительный нагрев стекла не применялся. В 20 оптической фокусирующей системе использовалась коническо-цилиндрическая оптика, формирующая серповидные пучки длиной 32 мм по периметру наружной окружности заготовки диска и 15 мм по внутренней окружности. Точечный надрез осуществлялся с помощью алмазной иглы. 25 Хладагент (воздушно-водяная смесь) подавался в зону резки через форсунку с давлением воздуха 2 атм, расход воды составлял 2 мл/мин. Скорость резки составляла по большой окружности 150 мм/с, по внутренней - 47 мм/с. Точность резки составила - 5 мкм.

Более подробно примеры реализации резки будут описаны при 30 раскрытии работы устройства.

Рассмотрим варианты устройства, реализующего предлагаемый способ резки неметаллических материалов.

Устройство для резки неметаллических материалов, например, листовых материалов, содержит источник теплового излучения, например, 35 лазер 9 (фиг.4), на оптической оси которого установлена оптическая фокусирующая система 10, состоящая из поворотного зеркала 11 и фокусирующего объектива 12, формирующего лазерный пучок 13 на поверхности материала 14 в зоне 15 резки. В непосредственной близости от

зоны резки 15 расположен механизм 16 подачи хладагента, выполненный в виде форсунки 17 и водяного и воздушного клапанов 18 и 19, обеспечивающих подачу воздушно-водяной смеси, являющейся эффективным хладагентом, в зону 15 резки. Механизм 16 подачи хладагента снабжен 5 направляющими с микрометрическими винтами (на чертежах не показаны), обеспечивающими возможность его прецизионного перемещения по координатам X, Y.

Рядом с зоной 15 резки размещен механизм 20 нанесения надреза, выполненный в виде алмазной иглы или другого режущего инструмента. 10 Данный механизм 20 установлен с возможностью перемещения в вертикальной плоскости до контакта с материалом 14 в заданной точке с заданным регулируемым усилием и в течение заданного промежутка времени. при воздействии алмазной иглы на неподвижный материал 14 образуется точечный дефект заданной глубины, а при воздействии алмазной иглы на 15 перемещающийся материал 14, на поверхности материала 14 образуется надрез заданной длины и глубины.

Для удержания материала в процессе резки устройство содержит средство 21 фиксации разрезаемого материала, которое может быть выполнено в виде пластин-фиксаторов. В данном случае пластины-фиксаторы 20 выполнены с боковыми зеркальными гранями под углом 45 градусов и помимо функции фиксации материала способствуют зарождению трещины на краю пластины.

Однако наиболее удобным средством фиксации является вакуумная фиксация.

25 В качестве средства относительного перемещения материала 14 и основных функциональных узлов, которыми являются оптическая фокусирующая система 10, механизм 16 подачи хладагента и механизм 20 нанесения надреза, могут быть использованы различные варианты координатных и поворотных столов для перемещения материала 14 или 30 оптические транспортные средства для перемещения лазерного пучка и хладагента относительно неподвижного материала.

В данном конкретном устройстве в качестве средства 22 перемещения материала 14 использована система поворотного и координатного столов 23 и 24, которые обеспечивают перемещение материала 14 по любому заданному 35 контуру.

Управление средством 21 фиксации, средством 22 относительного перемещения материала 14, механизмом 16 подачи хладагента (посредством управления водяным и воздушным клапанами 18 и 19), механизмом 20

нанесения надреза, оптической фокусирующей системой 10, лазером 9 осуществляется с помощью системы 25 управления. Система 25 управления осуществляет управление и связь между всеми функциональными органами и исполнительными механизмами устройства в зависимости от заданной 5 программы.

Для преобразования пучка лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности в пучок, имеющий на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр пучка, распределение плотности мощности, убывающей от периферии к центру 10 пучка, оптическая фокусирующая система 10 содержит оптический элемент, например, аксикон 26.

Этот же оптический элемент может быть использован также для формирования пучка, имеющего форму кольца, совпадающего с контуром резки по окружности.

15 Следует отметить, что для получения лазерного пучка с заданным распределением плотности мощности и с заданной формой на поверхности материала существует большое количество конструктивных решений, использующих не только прозрачные оптические элементы, но и отражающую металло-оптику, а также их комбинации.

20 В частности, для реализации способа резки по схеме, показанной на фиг. 2, можно использовать неподвижное поворотное зеркало, копирующее контур резки, которое будет преобразовывать ленточный пучок, сформированный цилиндрической оптикой, в пучок криволинейной формы, по существу совпадающей с контуром резки. Этот же результат может быть 25 достигнут применением подвижного гибкого зеркального элемента, перемещающегося по копиру и повторяющего форму контура резки.

В ряде случаев для предварительного нагрева материала 14 устройство содержит средство для нагрева материала, выполненное в виде плоского нагревателя 27, размещенного на поворотном столе 23.

30 В качестве средства для предварительного нагрева материала может быть также использован любой известный источник теплового излучения, например, лазер, инфракрасная лампа или газовая горелка.

Порядок работы устройства для резки неметаллических материалов поясним на примере изготовления детали с замкнутым криволинейным 35 контуром 28 (фиг.5). Включением механизма 20 наносится надрез в точке С контура 28 (фиг.5.). Одновременно осуществляется запуск поворотного стола 23 (фиг.4) в направлении против часовой стрелки с линейной скоростью  $V = w R$ , где  $w$  - угловая скорость,  $R$  - радиус контура, а через промежуток

времени  $t_0 = \pi R/2 v$ , включается лазер 9. Лазерный пучок 13 начинает прогрев поверхности материала 14, начиная с момента, когда надрез 29 находится в точке D и совпадает по существу с серединой пучка 30. Затем через промежуток времени  $t_1 = (b/2+l)/v$  открываются клапаны 18 и 19, а в место с нанесенным надрезом 29 подается воздушно-водяная смесь (хладагент 2), в результате чего за счет резкого охлаждения только что прогретого участка материала 14 происходит образование разделяющей трещины, которая по мере вращения материала 14 распространяется по контуру 28. В течение времени

$$10 \quad t_2 = \frac{2\pi R + b/2}{v}$$

осуществляется воздействие на материал 14 лазерного пучка 30 и подача хладагента 2 в зону резки. По истечении времени  $t_2$  производится выключение 15 лазера 9, закрываются клапаны 18 и 19 и отключается привод поворотного стола 23.

Особенно строго необходимо соблюдать последовательность и начальный момент включения основных функциональных узлов при резке по замкнутому криволинейному контуру. Так, нагрев материала 14 необходимо 20 начинать в тот момент времени, когда надрез 29, по существу, совпадает с оптической осью фокусирующего объектива 12, то есть находится посередине лазерного пучка 30. И еще более важно начало подачи хладагента 2 осуществлять непосредственно в место с нанесенным надрезом 29, то есть с задержкой по времени по отношению к началу нагрева лазерным пучком 30 25 на величину

$$t_1 = \frac{b/2 + l}{v}$$

Если подачу хладагента 2 начать позже этого момента, то образования 30 трещины не произойдет, если раньше, то произойдет развитие трещины в противоположную сторону, что отрицательно скажется при замыкании трещины по замкнутому контуру 28.

При прямолинейной резке указанные ограничения менее критичны и оказывают меньшее влияние на точность и качество резки.

35 Кроме того, очень важно, чтобы отключение хладагента 2 после завершения технологического цикла производилось не одновременно с выключением лазера 9, а по крайней мере с той же временной задержкой, с которой происходило его выключение. В противном случае замыкания

трещины по всему контуру не произойдет.

Важным условием при прямолинейной резке и при резке по криволинейному контуру является строгая ориентация положения хладагента 2 по линии резки. Даже незначительное отклонение положения хладагента 2 от заданного контура 30 приводит к заметному ухудшению качества резки и снижению точности резки.

Описанные преимущества заявляемого способа резки неметаллических материалов, преимущественно стекла, и устройства для его осуществления обеспечиваются всей совокупностью отличительных признаков, так как 10 исключение любого из них не обеспечивает достижения поставленной цели.

Способ резки с помощью предложенного устройства прошел опробацию и реализован для вырезки прецизионных изделий из стекла, кварца, ситалла, ряда монокристаллических материалов и показал неоспоримое преимущество перед традиционными методами изготовления 15 высокоточных деталей и изделий.

Применение описанного способа резки и устройства наряду со снижением трудоемкости процесса за счет исключения операций алмазно-абразивного шлифования и доводки торцев изделий обеспечивает повышенную механическую прочность и эксплуатационную надежность 20 благодаря бездефектности кромки после лазерной резки.

#### Промышленная применимость

Настоящее изобретение может быть использовано в автомобилестроении для изготовления стекол и зеркал, в электронной 25 промышленности при изготовлении прецизионных подложек для жидкокристаллических индикаторов и фотошаблонов, магнитных и магнитооптических дисков, в часовой промышленности для изготовления защитных стекол, в авиационной промышленности при изготовлении изделий конструкционной оптики, в области архитектуры и стройматериалов для 30 размерного раскроя стекла, в том числе в процессе выработки, а также в других областях техники и производства, где используются прецизионные изделия из неметаллических материалов. Данное изобретение может быть успешно использовано для резки не только листовых материалов, но и для резки трубок и других изделий, имеющих форму тел вращения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ резки неметаллических материалов, включающий нагрев  
линии реза источником теплового излучения, например, лазерным пучком,  
5 локальное охлаждение участка облучения с помощью хладагента при  
относительном перемещении участка облучения и, по крайней мере,  
хладагента, отличающийся тем, что нагрев осуществляют пучком, имеющим  
на поверхности материала в поперечном сечении, проходящем через центр  
пучка, распределение плотности мощности излучения, убывающей от  
10 периферии к центру пучка.
2. Способ по п.1., отличающийся тем, что форма пучка на  
поверхности материала по существу совпадает с контуром резки.
3. Способ по пп.1,2, отличающийся тем, что при резке по  
криволинейному контуру, имеющему форму окружности, нагрев  
15 осуществляют пучком, имеющим на поверхности материала серповидную  
форму с радиусом кривизны, по существу совпадающим с радиусом  
окружности.
4. Способ по пп.1,2, отличающийся тем, что при резке по замкнутому  
контуру нагрев осуществляют пучком, имеющим на поверхности материала,  
20 по существу форму замкнутого контура.
5. Способ по пп.1,2,3,4, отличающийся тем, что дополнительно на  
поверхности материала на линии реза наносят надрез преимущественно перед  
началом охлаждения участка облучения материала.
6. Устройство для резки неметаллических материалов, содержащее  
25 источник теплового излучения, например, лазер (9), на оптической оси  
которого установлена с возможностью перемещения вдоль нее оптическая  
фокусирующая система (10), формирующая лазерный пучок (13) на  
поверхности материала (14), а вблизи участка облучения материала между  
оптической фокусирующей системой (10) и материалом (14) установлен с  
30 возможностью перемещения относительно участка облучения материала  
механизм (16) подачи хладагента в зону резки, а также содержит средство  
(21) фиксации разрезаемого материала (14) и средство (22) относительного  
перемещения материала, по крайней мере, относительно  
хладагента, отличающегося тем, что последовательность и момент включения  
35 лазера (9) с оптической фокусирующей системой (10) и механизма (16)  
подачи хладагента, а также место и продолжительность воздействия лазерного



пучка (13) и механизма (16) подачи хладагента связаны со средством (22) их относительного перемещения через систему управления (25) и выбраны с учетом места начала резки при получении заданного контура резки неметаллического материала (14).

5 7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что оптическая фокусирующая система (10) содержит оптический элемент, например, аксикон (26), преобразующий пучок лазерного излучения с гауссовым распределением плотности мощности в пучок, имеющий на поверхности материала (14) в поперечном сечении распределение плотности мощности, 10 убывающей от периферии к центру пучка.

8. Устройство по пп.6, 7, отличающиеся тем, что оптическая фокусирующая система (10) содержит оптический элемент, формирующий на поверхности материала (14) лазерный пучок в форму, по существу совпадающую с контуром резки.

15 9. Устройство по пп.6, 7, 8, отличающиеся тем, что оно дополнительно содержит механизм (20) нанесения надреза, управляемый посредством системы управления (25) и установленный с возможностью регулируемого по времени и усилию воздействия в заданной точке поверхности материала (14), и размещен между оптической фокусирующей 20 системой (10) и материалом (14).

10. Устройство по пп.6, 7, 8, 9, отличающиеся тем, что система управления (25) соединена с механизмом (20) нанесения надреза, оптической фокусирующей системой (10) и механизмом (16) подачи хладагента так, что включение оптической фокусирующей системы (10) производится при 25 совпадении оптической оси лазерного пучка (30) по существу с серединой надреза (29), а время включения механизма (16) подачи хладагента (2) имеет задержку  $t_1$  по отношению к моменту фокусирующей системы (10), определяемую соотношением:

$$b/2 + l$$

30  $t_1 = \frac{b/2 + l}{v}$

где  $b$  - длина лазерного пучка на поверхности материала;  
 $v$  - скорость относительного перемещения материала и хладагента;

35  $l$  - расстояние от лазерного пучка (30) до хладагента (2);  
 при этом после включения оптическая фокусирующая система (10) и механизм (16) подачи хладагента (2) находятся в рабочем положении в течение по крайней мере одного технологического цикла, определяемого

соотношением:

$$t_2 = \frac{L + b/2}{v}$$

5 где  $L$  - длина контура резки;  
 $t_2$  - время одного технологического цикла.

11. Устройство по пп. 6, 7, 8, 9, 10, отличающиеся тем, что оно дополнительно снабжено средством для нагрева материала (14).

10 12. Устройство по пп.11, отличающиеся тем, что в качестве средства для нагрева материала использован плоский нагреватель (27), на котором размещен разрезаемый материал (14).

13. Устройство по пп.11, отличающиеся тем, что в качестве средства для нагрева материала (14) использован источник теплового излучения,  
15 например, лазер, инфракрасная лампа или газовая горелка.

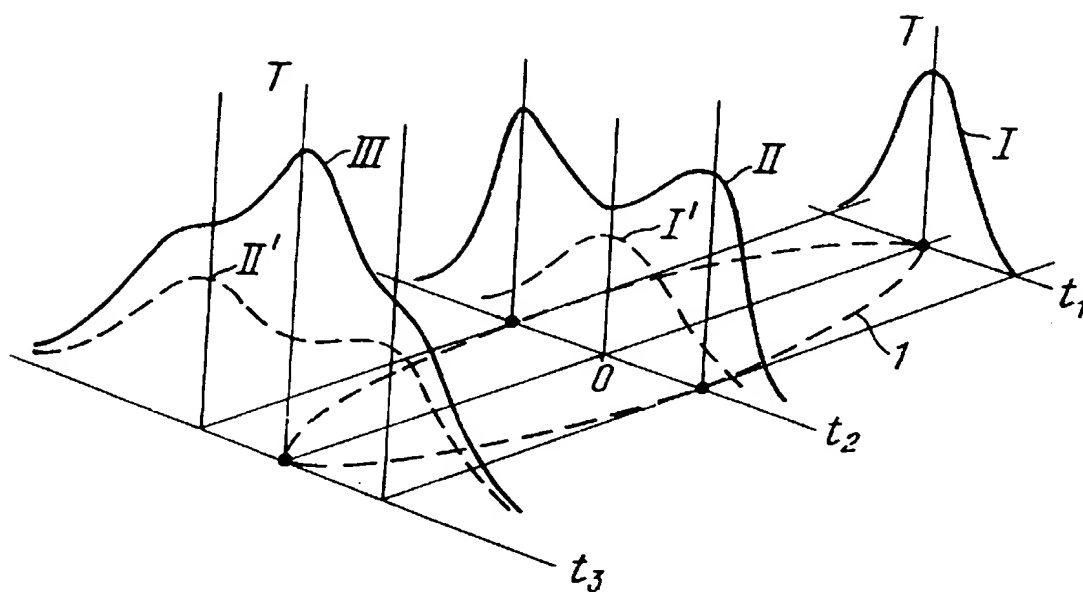


FIG.1

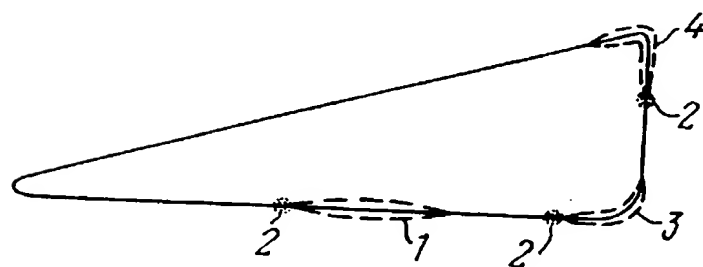


FIG.2

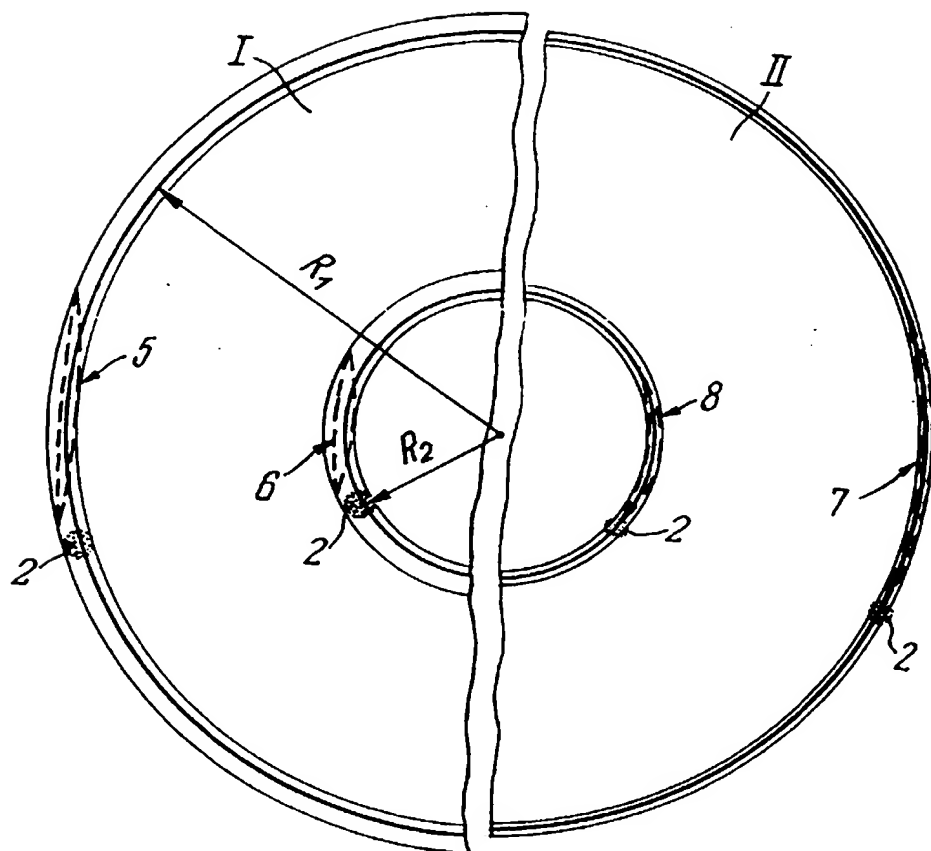
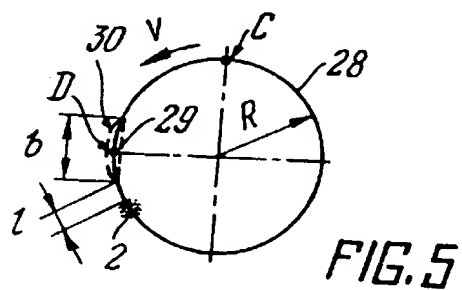
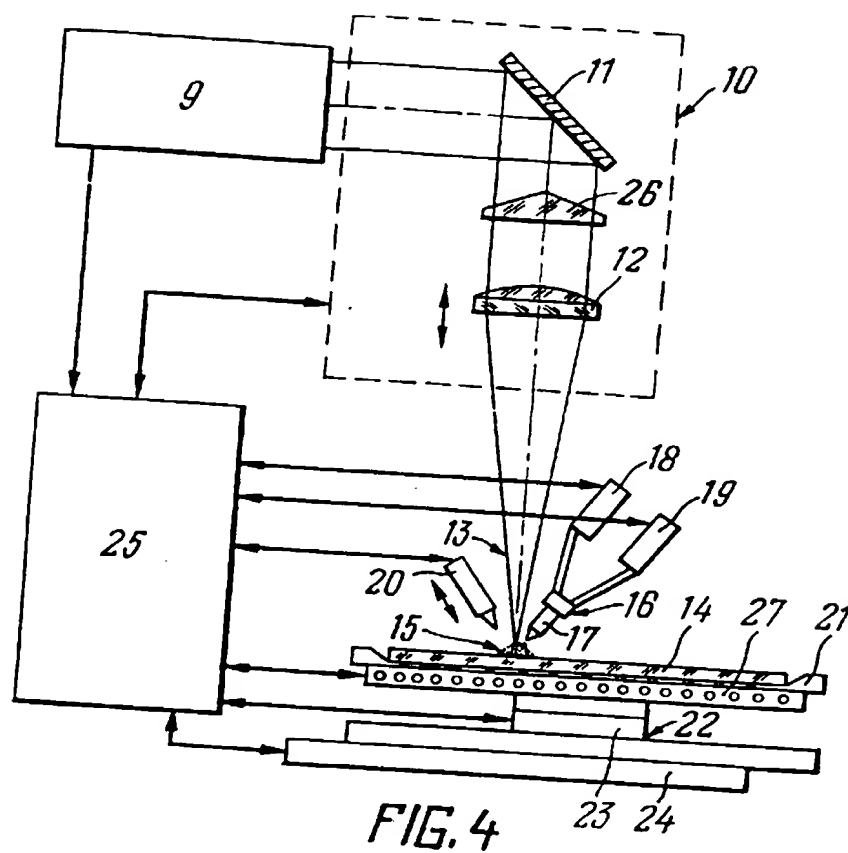


FIG. 3



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 94/00276

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23K 26/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K 26/00, 26/06, 26/08, 26/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO, A1, 93/20015 (PCT/GB 93/00699), (TECHNOLOGY LIMITED), 14 October 1993 (14.10.93), cited in description	1,5 2-4,6-13
Y A	US, A, 5237150 (FANUC LTD.), 5 August 1993 (05.08.93), fig. 16, description column 3, p. 25-43	1 6-13
Y A	US, A, 5084604 (U.S. PHILIPS CORPORATION), 28 January 1992 (28.01.92)	5 2-4,6,9
A	US, A, 5004890 (AMADA COMPANY, LIMITED), 02 April 1991 (02.04.91)	6-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 August 1995 (02.08.95)

Date of mailing of the international search report

16 August 1995 (16.08.95)

Name and mailing address of the ISA/

RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка No  
PCT/RU 94/00278

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: E23K 26/00  
Согласно Международной патентной классификации (МКИ-6)

B. ОБЛАСТИ ПОИСКА:

Проверенный минимум документации (Система классификации и индексы) МКИ-6: E23K 26/00, 26/06, 26/08, 26/14

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (названия базы и, если возможно, поисковые термины):

C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория (*)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту No.
Y A	WO, A1, 93/20015 (PCT/GB 93/00699), (TECHNOLOGY LIMITED), 14 октября 1993 (14.10.93), указан в описании	1.5 2-4, 6-13
Y A	US, A, 5237150 (FANUC LTD.), 5 августа 1993 (05.08.93), фиг. 16, описание колонка 3, стр. 25-43	1 6-13
	US, A, 5084604 (U.S. PHILIPS CORPORATION)	

☒ последующие документы указаны в продолжении графы C ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

\* Особые категории ссылок документов:

"A" - документ, определяющий общий уровень техники.

"E" - более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее.

"O" - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"P" - документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета.

"T" - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения.

"X" - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень.

"Y" - документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории.

"&" - документ, являющийся патентом-аналогом.

Дата действительного завершения международного поиска  
02 августа 1995 (02.08.95)

Дата отправки настоящего отчета о международном поиске  
16 августа 1995 (16.08.95)

Наименование и адрес Международного поискового органа:  
Всероссийский научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы, Россия, 121858, Москва, Бережковская наб. 30-1  
факс (095) 243-33-37, телетайп 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо:

Г. Квартальнова

тел. (095) 240-58-88

Форма PCT/ISA/210 (второй лист) (июль 1992)

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер заявления на поиск  
PCT/RU 94/00276

С. (Продолжение) ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту No.
Y A	28 января 1992 (28.01.92)	5 2-4,6,9
A	US, A, 5004890 (AMADA COMPANY, LIMITED), 02 апреля 1991 (02.04.91)	6-13